

suffisante pour perturber l'orbite de la Terre. De son côté, l'astronome Laplace calcula l'effet de ces forces perturbatrices, et, rendant hommage à Pythéas, démontra qu'à l'époque du savant marseillais, l'inclinaison de l'axe de la Terre était bien de $23^{\circ}46'$. Pythéas avait raison!

Les calculs de la mécanique céleste concluent aujourd'hui que l'inclinaison de l'axe de la Terre varie entre 22° et $24,5^{\circ}$ au cours d'une période de 40 000 ans. Cette oscillation est à l'origine d'un cycle climatique qui a été confirmé par l'examen des dépôts glaciaires stratifiés depuis 150 000 ans sur 2 200 mètres d'épaisseur.

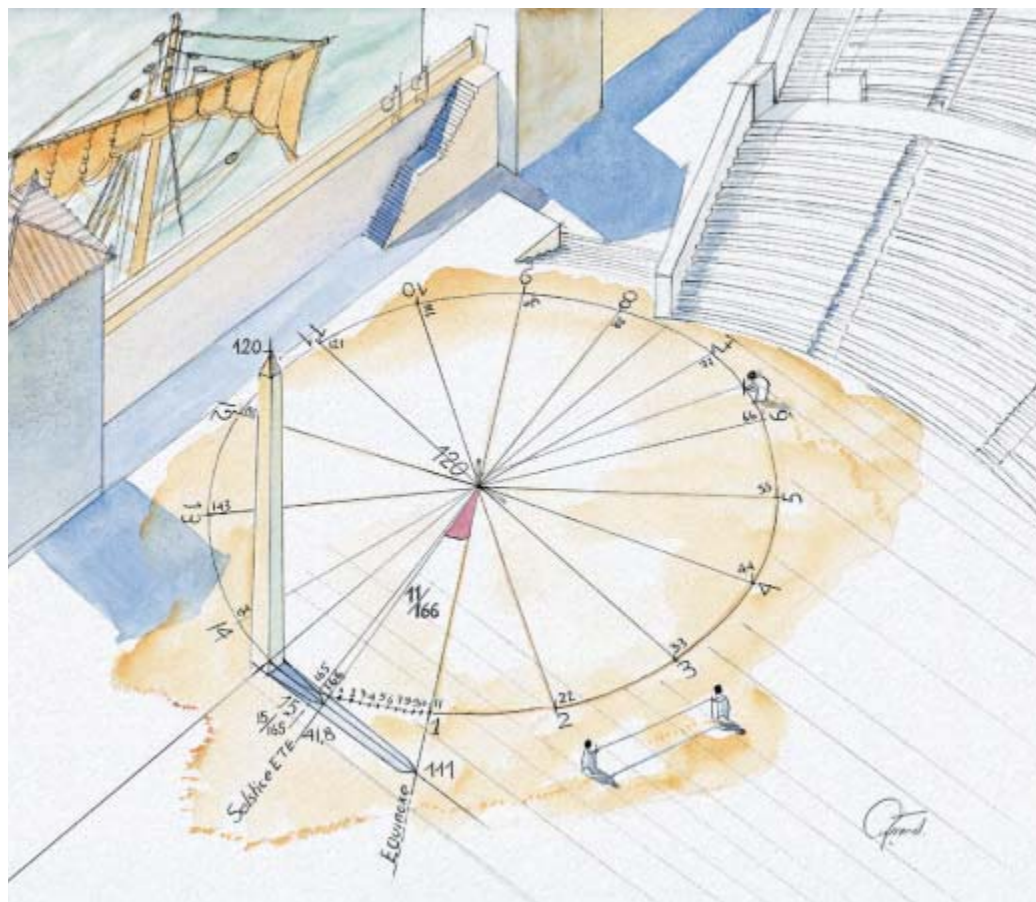
Les pythagoriciens avaient mesuré l'obliquité de l'écliptique par rapport à l'équateur céleste : $1/15$ de la circonférence. Eudoxe (IV^e siècle avant notre ère) et Aristote ont adopté cette valeur. Ératosthène, suivi par Hipparque et Ptolémée (II^e siècle de notre ère), a utilisé une valeur plus précise : $11/83$ ($11/83$ est la double-obliquité comptée du solstice d'été au solstice d'hiver, soit $11/166$ pour l'obliquité). D'où peut bien provenir ce nombre 83? Comment a-t-il été mesuré?

Au XVII^e siècle, l'astronome Riccioli écrivit qu'Ératosthène divisait les cercles en 83 parties (un nombre premier). Cette affirmation irréflichte lui attira une critique polie de Jean-Baptiste Delambre dans son ouvrage *Histoire de l'astronomie ancienne*. Pour sa part, Delambre, sans grande conviction, tenta d'expliquer ce nombre curieux comme le résultat d'un calcul. Selon lui, Ératosthène aurait mesuré un angle de $47^{\circ}40'$, soit $47^{\circ}2/3$; or $47^{\circ}2/3/360 = 143/1080 = 11 \times 13/1080 = 11/(83 + 1/13)$. Cela conduit «assez naturellement» à la valeur $11/83$ si l'on néglige au dénominateur la fraction décimale $1/13$!

Delambre connaissait la difficulté de ce type de mesures qui doivent forcément être effectuées en deux temps, à plusieurs mois d'intervalle. Toutes les tentatives faites au XIX^e siècle pour mesurer la parallaxe des étoiles, à six mois d'intervalle, par rapport à des cercles mobiles, avaient échoué. Delambre en était conscient. Avec raison, il souligne le silence de Ptolémée sur la méthode qu'aurait utilisée Ératosthène. Il ne manque pas non plus d'émettre des réserves sur la précision de la méthode. Comme lui, on peut conclure que «l'intervalle entre les tropiques n'a pu être mesuré qu'à l'aide d'un gnomon», seul instrument stable au cours du temps et capable d'une

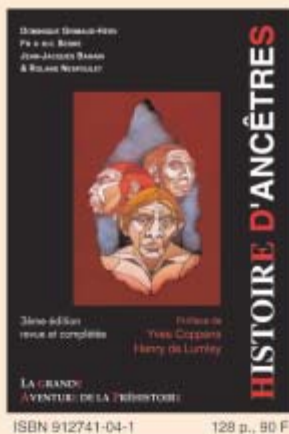
mesure mémorisée, gravée sur le sol. Ératosthène, à qui l'on attribue le résultat final de $11/166$, avait lu l'ouvrage *Peri Oceanos* de Pythéas, qu'il cite fréquemment et qu'il utilise pour sa géographie. Pourtant, Ératosthène qui était à la fois directeur de la bibliothèque d'Alexandrie et précepteur de Ptolémée Philopator, n'aurait consacré probablement qu'une partie de son temps aux observations astronomiques. Il avait acquis une solide réputation en mathématiques, en astronomie, en géographie, en musique, en philosophie, en philologie et en littérature! Il y gagna par la suite les surnoms de *Bêta* et de *Pentathlos*, signifiant qu'il n'était que le second dans chacun de ces nombreux domaines. Nous pensons qu'Ératosthène a probablement utilisé les résultats de Pythéas qui avait l'expérience scientifique nécessaire et disposait d'un gnomon, instrument idéal pour cette mesure.

L'obliquité de l'écliptique est la différence de hauteur du Soleil au méridien entre le jour du solstice et celui de l'équinoxe. Pour mesurer cet angle situé dans le plan méridien, Pythéas a probablement l'astuce de rabattre ce plan vertical sur le sol, où sont consignées ses mesures. Le gnomon est divisé en 120 parties égales (voir la figure 5). La pointe du gnomon se projette alors sur une ligne Est-Ouest, à 120 divisions du pied du gnomon. Pythéas trace sur le sol un cercle, dont le rayon est égal à 120 divisions et qui passe par le pied du gnomon. Il joint le centre de ce cercle aux deux points qui avaient été repérés et qui représentent, l'un l'ombre au solstice d'été et l'autre, l'ombre à l'équinoxe. Cet angle, matérialisé sur le sol, est l'obliquité de l'écliptique. Grâce à sa méthode de projection, il peut désormais en mesurer aisément la valeur.

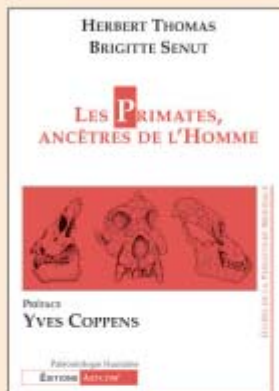


Jean-Marie Gassend

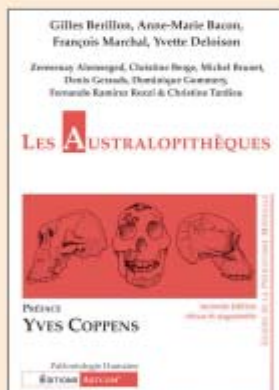
5. LA MÉTHODE GRAPHIQUE DE PYTHÉAS : il partage en 120 divisions la hauteur de l'obélisque, dont l'ombre se projette sur la ligne méridienne à une distance égale à 111 divisions le jour de l'équinoxe et à 41 divisions et $4/5$ (41,8) le jour du solstice d'été. Pour évaluer cet angle, Pythéas trace un cercle dont le rayon est égal à 120 divisions et qui passe par le pied du gnomon. Pythéas prend une corde dont la longueur est celle de la corde qui sous-tend l'angle (en rouge) formé par la pointe du gnomon au solstice d'été et à l'équinoxe. Il reporte la longueur de sa corde 15 fois sur le cercle, mais il lui reste un résidu. Il prend ce résidu comme nouvelle corde unité et constate qu'il peut la reporter 11 fois pour obtenir l'angle qu'il cherche à mesurer et 166 fois pour faire le tour de la circonférence. L'angle étudié mesure $11/166$ et correspond à l'obliquité de l'écliptique.



ISBN 912741-04-1 128 p., 80 F



ISBN 912741-22-X 164 p., 90 F



ISBN 912741-21-1 256 p., 90 F



ISBN 912741-07-6 344 p., 230 F



53, rue Boissière 75116 - Paris

Ni Pythéas ni les astronomes grecs, ne connaissaient les fonctions trigonométriques ; ils étaient contraints de procéder par méthode graphique pour exprimer la valeur de l'angle enregistré. À l'époque de Pythéas, la circonférence était divisée en 12 signes du zodiaque, 30 degrés pour chaque signe ; plus tard, Ératosthène divisera la circonférence en 60 parties et Hipparque en 360 degrés ; Hypsiclès les subdivisera en 60 minutes, chacune en 60 secondes. Les Grecs ne connaissaient pas non plus les nombres décimaux : ils utilisaient les nombres entiers, les quantités et les fractions.

Pour exprimer la valeur de l'angle qu'il a enregistré sur le sol, en fraction de circonférence, Pythéas définit une corde, celle que sous-tend l'angle de l'obliquité de l'écliptique. Sur le cercle tracé au sol, il reporte sa corde autant de fois qu'il lui est possible : 15 fois. Il lui reste un petit résidu, puisque l'angle mesuré est légèrement inférieur à 24° . Nous pensons que Pythéas a pris alors la corde sous-tendue par cet angle résidu comme nouvelle corde-unité. Ainsi construite, il reporte la corde résidu 11 fois pour couvrir l'angle de l'obliquité de l'écliptique et 166 fois pour parcourir toute la circonférence. L'obliquité de l'écliptique est ainsi égale à $11/166$ de la circonférence, et la double-obliquité à $11/83$. Le nombre «83» apparaît bien comme le résultat d'une méthode graphique, il ne se déduit ni d'un calcul algébrique ni de la lecture d'un cercle gradué. L'énigme semble résolue à l'avantage de Pythéas.

L'une des plus belles découvertes astronomiques de Pythéas, qui lui valut l'éloge d'Hipparque, est l'observation du pôle céleste, point imaginaire situé dans le prolongement de l'axe de la Terre et autour duquel semblent tourner toutes les étoiles. Cette ancienne mesure est précieuse, elle aussi, car elle nous permet de connaître la configuration du ciel au IV^e siècle avant notre ère.

L'axe de la Terre est aujourd'hui dirigé vers d'autres constellations. En effet, la Terre tourne comme une toupie, avec deux mouvements : elle effectue un tour en 24 heures et, en même temps, son axe décrit, en sens inverse sur le ciel et en 26 000 ans, un cône dont l'angle au sommet est égal à $23,5^\circ$. C'est la précession des équinoxes (voir la figure 4).

Pour dresser la carte des étoiles proches du pôle céleste, Pythéas utilise sûrement la pointe de son gnomon,

repère fixe dont la silhouette vient, au clair de lune, se découper sur le ciel. Au point de visée situé au Sud du gnomon, Pythéas a dû dresser une lucarne, une grille, derrière laquelle il sera venu, d'heure en heure, repérer les arcs de cercles décrits par les étoiles voisines du pôle (voir la figure 6). Pythéas profite vraisemblablement de la lueur d'une nuit de pleine lune pour distinguer en même temps la grille, la pointe du gnomon et les étoiles les plus brillantes. Une longue nuit d'hiver lui permet d'observer pendant 12 heures d'affilée le demi-cercle parcouru sur cette grille par l'ombre des étoiles circumpolaires. Le pôle céleste est au centre de ce cercle.

Pas d'étoiles au pôle

Dans ses *Commentaires*, Hipparque rapporte quelle était alors la situation : «Au sujet du pôle Nord, Eudoxe fait erreur lorsqu'il dit : "Il y a un astre qui demeure toujours au même endroit, cet astre est le pôle du monde." Et c'est qu'en effet au pôle il n'y a aucun astre, mais un endroit vide, près duquel se trouvent trois étoiles, avec lesquelles le signe qu'on mettrait au pôle constitue à peu près un quadrilatère, comme le dit aussi Pythéas le Massaliote.» Hipparque témoigne là en faveur de Pythéas qui fait montre de plus d'attention et d'exactitude qu'Eudoxe.

Les astronomes du XIX^e siècle et les calculs de la mécanique céleste ont permis depuis de préciser les trois étoiles identifiées par Pythéas. Il s'agit des étoiles alpha et kappa de la constellation du Dragon et de l'étoile bêta de la Petite Ourse.

Observateur du ciel, Pythéas fut aussi curieux de la vie des peuples. Diodore de Sicile (I^{er} siècle avant notre ère) décrit le mode de vie des indigènes qui habitent alors les Îles britanniques, sans doute d'après un texte de Pythéas : «On dit que c'est une race autochtone qui habite la grande île britannique et que ses mœurs sont celles d'autrefois. D'une part, en effet, dans leurs guerres, ils se servent de chars comme nous avons appris par la tradition que le faisaient les héros grecs dans la guerre de Troie, et, d'autre part, ils ont des habitations fort pauvres faites le plus souvent de roseaux et de bois. Ils font leur provision de blé en coupant les épis et en les conservant dans des abris couverts. De ces réserves, ils tirent chaque jour les vieux épis